

Санкт-Петербургский государственный университет

Математико-механический факультет, кафедра
Информационно-аналитических систем

Брусинец Кирилл Игоревич

Влияние ритмов музыкальных произведений на сердечные ритмы

Бакалаврская работа

Научный руководитель:
кандидат физ-мат наук, доцент Графеева Наталья Генриховна

Рецензент:
ИТ эксперт Денисенко Александр Васильевич

Санкт-Петербург
2016

SAINT-PETERSBURG STATE UNIVERSITY

Mathematics and Mechanics Faculty, Sub-Department of Analytical
Information Systems

Brusinets Kirill

The influence of different music rhythms on heart rhythm

Graduation Thesis

Scientific supervisor:
PhD, associate professor Grafeeva Natalia

Reviewer:
IT expert Denisenko Aleksandr

Saint-Petersburg
2016

Оглавление

Введение	4
1. Постановка задачи	5
2. Входные данные	6
3. Существующие решения и подходы	7
4. Описание методики проведения экспериментов	8
4.1. Предварительная подготовка данных	8
4.2. Выделение особенностей	10
5. Результаты эксперимента	15
6. Анализ полученных данных	16
6.1. Анализ средних значений	16
6.2. Анализ изменений по мере прослушивания	17
Заключение	19
Список литературы	20
Приложения	22

Введение

Музыка имеет особое психологическое влияние на нас. Она в силах изменять настроение, помогать сконцентрироваться, в ней даже можно найти облегчение в периоды стресса. Религиозные обряды всех времен также использовали свою музыку. Музыка способна поменять наш образ жизни, наши привычки, взгляд на мир. С помощью своих произведений, музыканты выражают себя, передавая свои идеи и чувства слушателям так, как не смогли бы передать словами. Учитывая сказанное, ее психологическое влияние нельзя недооценивать. Но тогда возникает вопрос о существовании физиологического влияния и меняется ли оно в зависимости от музыки. Можем ли мы рассчитывать на помощь музыки не только на психологическом уровне, но и на физическом? Поиск ответа на данный вопрос будет производиться в данной работе.

1. Постановка задачи

В этой работе будет исследоваться существование влияния различных музыкальных произведений на работу сердца. Для измерения работы сердца будет использоваться электрокардиография. Электрокардиография — методика регистрации и исследования электрических полей, образующихся при работе сердца. Регистрация проводится с помощью датчиков, прикрепленных к конечностям пациента. Результатом процедуры является получения электрокардиограммы (ЭКГ) (Рис. 1) - график электрической активности сердца, исследование которого позволяет получать информацию о его состоянии.

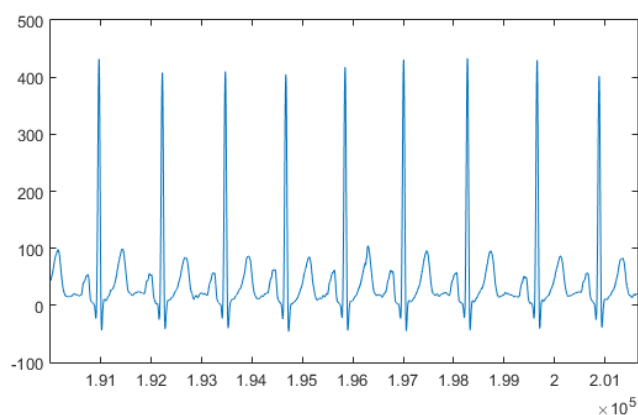


Рис. 1: Пример ЭКГ

На ЭКГ можно выделить 5 зубцов: P, Q, R, S, T. (Рис. 2) Каждый из них, а также интервалы между ними, отвечают за определенную фазу сердечного цикла. В целом, один набор этих особенностей описывает один сердечный цикл.

Требуется распознать особенности ЭКГ, указанные на Рис. 2, а также высоту пиков P, Q, R, S, T, ширину P и T и частоту сердечных сокращений (ЧСС), которая выводится из расстояний между ближайшими сердечными циклами. Найти средние величины этих особенностей и замерить их изменение за время прослушивания произведения. Далее необходимо исследовать эти данные на изменения в зависимости от прослушиваемой музыки.

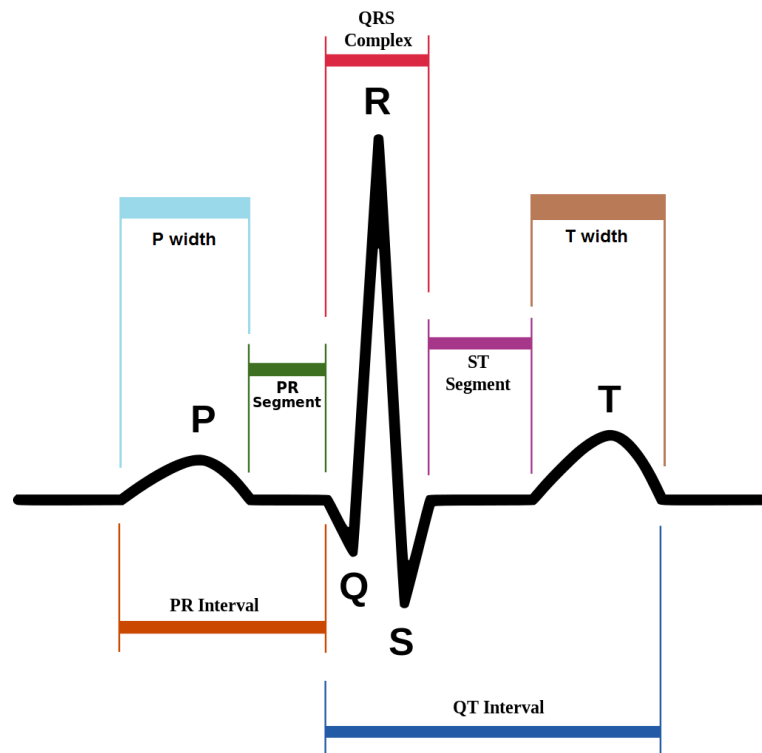


Рис. 2: Пример сердечного цикла на ЭКГ

2. Входные данные

Данные представляют собой сигналы ЭКГ с частотой 2000Hz (1 деление по оси абсцисс - 0.5ms) и длиной 5 минут (Рис. 1) . Проводится 4 снятия ЭКГ на испытуемого, общее количество которых 11, с пятиминутной паузой между замераами:

1. В состоянии покоя
2. При прослушивании лунной сонаты Бетховена
3. При прослушивании имперского марша (OST Звездные войны)
4. При прослушивании Metallica - Some kind of monster

Пример входных данных указан на Рис. 1.

3. Существующие решения и подходы

Работы по нахождению физиологического влияния музыкальных произведений проводятся уже достаточно давно, но результаты их разнятся: в некоторых систематического влияния не обнаружилось [2], в других [5] [7] было зафиксировано увеличение ЧСС при прослушивании быстрых произведений, по сравнению с ЧСС при прослушивании медленных и успокаивающих. Было проведено исследование по сравнению результатов во время прослушивания дэт-метал произведения и Корана [13], которое показало увеличенный ЧСС в случае Корана, по отношению к ЧСС во время песни. В этих работах также были рассмотрены дополнительные факторы, такие как кровяное давление, ЭЭГ, но из ЭКГ бралась информация только о количестве ударов сердца в минуту. В данной работе будет рассмотрено влияние на большее количество особенностей ЭКГ. Также будет рассмотрено их изменение по мере прослушивания песни.

В существующих работах, посвященных распознаванию ЭКГ приведены различные подходы, к примеру, нейронные сети [9] [1], синтаксический анализ [10], скрытые марковские модели [11].

В работах [4] [8] описан высокоточный алгоритм нахождения пиков ЭКГ, состоящий из двух этапов. На первом этапе производится предварительная обработка. Сначала проводится чистка данных от высокочастотных шумов. В работе [8] заодно описан алгоритм чистки от низкочастотных шумов. Далее, чтобы выделить пики относительно не интересующих данных, сигнал трансформируется при помощи первой производной и трансформации Гильберта. В дополнение к этому, в работе [4] к трансформации добавляется еще один шаг, в котором используется формула, позволяющая выделить пики еще сильнее. На втором этапе, с использованием обработанных данных, находятся пики ЭКГ.

В работе [12] был использован похожий подход, и дополнительно в ней был описан алгоритм нахождения границ пиков.

4. Описание методики проведения экспериментов

Основываясь на [4] [8], сначала будет проведена предварительная обработка данных, после которой произведется нахождение интересных величин. Для обработки будет использован метод, описанный в работе [4]. На вход он получает данные, очищенные от высокочастотных шумов. Алгоритм чистки был выбран, используя результаты их сравнения в работе [3]. Для избавления от низкочастотных помех, используется метод из работы [8]. Далее, будет использован описанный в ней подход для нахождения R пиков. Остальные пики будут найдены по примеру описанному в [4]. Метод нахождения границ пиков, описанный в [12] будет модифицирован и применен. Далее, полученные данные будут статически обработаны.

4.1. Предварительная подготовка данных

Для облегчения выделения особенностей, начальные данные необходимо предварительно подготовить. ЭКГ подвержена низкочастотным и высокочастотным помехам, которые осложняют задачу распознавания. Фильтрация позволяет подавить ненужные частоты в данных. Для начала, надо избавиться от высокочастотных помех. К исходным данным ЭКГ применяется low-pass фильтр. Это общее название фильтров, которые изменяют исходные данные, пропуская сигнал с частотой ниже установленной границы, и подавляя сигнал с частотой, превышающей эту границу. Исследования [3] показали, что для low-pass фильтра ЭКГ хорошо подходит фильтр Баттерворта. Он отсеивает ненужные частоты, меньше влияя на нужные, по сравнению с другими фильтрами. Полезные данные ЭКГ имеют частоту до 100 Hz.[6] С помощью функции MATLAB butter, строится фильтр Баттерворта, отсеивающий частоты выше 100 Hz. В результате исходные данные сглаживаются. После применения фильтра график немного сдвигается вдоль оси абсцисс, но внутренних изменений не происходит.

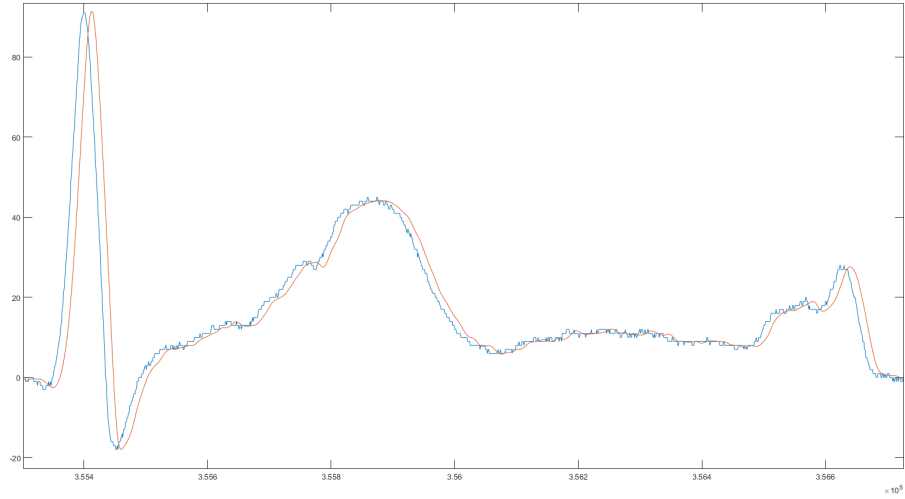


Рис. 3: После применения фильтра

Baseline wandering это низкочастотные помехи, возникающие в большинстве своем либо из-за дыхания, либо вследствие плохо закрепленных датчиков. Избавиться от этих помех можно будет после нахождения положений R пиков. Самый длинный горизонтальный промежуток на ЭКГ находится между T и P. Поэтому после того, когда будут найдены положения R пиков, в каждом сердечном цикле определяем опорную точку чуть правее T пика, это приблизительно $R_{peak} + 320ms$. Применяем формулу 1, в которой X_i - внутренний цикл от 0 до $(x_2 - x_1)$. Ее действие показано на Рис. 4. Результат показан на Рис. 5.

$$CorrectedBaseLine = data - \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} X_i - y_1 \quad (1)$$

Чтобы сильнее выделить интересующие нас пики относительно остальных значений, проводим следующую подготовку. Обработанные данные дифференцируются. Можно сказать, производная выступает как high-pass фильтр, акцентируя высокочастотный QRS комплекс, но в то же время уменьшая амплитуду более низко частотных P и T. Пики дифференцированных данных находятся в нулях производной. Чтобы вернуться обратно к пикам, применяется преобразование Гильберта (2).

$$y(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x'(a)}{t - a} da \quad (2)$$

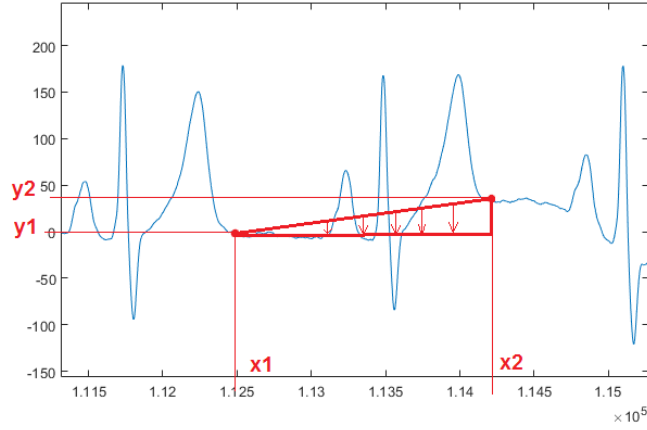


Рис. 4: Избавление от Baseline wandering с помощью формулы 1

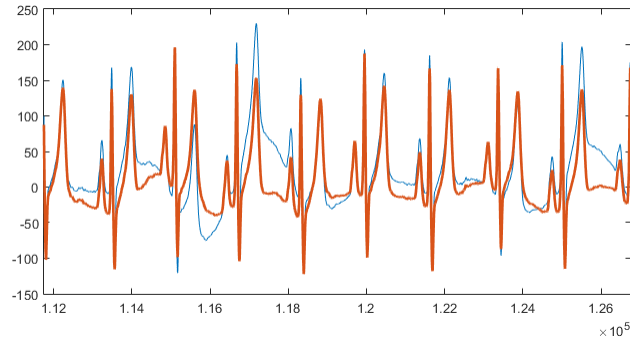


Рис. 5: Синий - исходные данные, оранжевый - после избавления от Baseline wandering

Далее, чтобы еще сильнее выделить пики, применяется формула (3). Это действие не изменяет значений на вершине, но увеличивает уклон его боковых сторон, что поможет при распознавании.

$$f(i) = \frac{f(i)}{1 + (f(i)')^2} \quad (3)$$

4.2. Выделение особенностей

Для каждой из искомых величин из каждой ЭКГ необходимо получить массив значений этой величины в каждом из сердечных циклов. Поиск пиков производится на данных, подготовленных в предыдущем разделе.

Р. Первыми определяются координаты R пиков. Находятся все локальные максимумы. Из них R пиками являются все локальные мак-

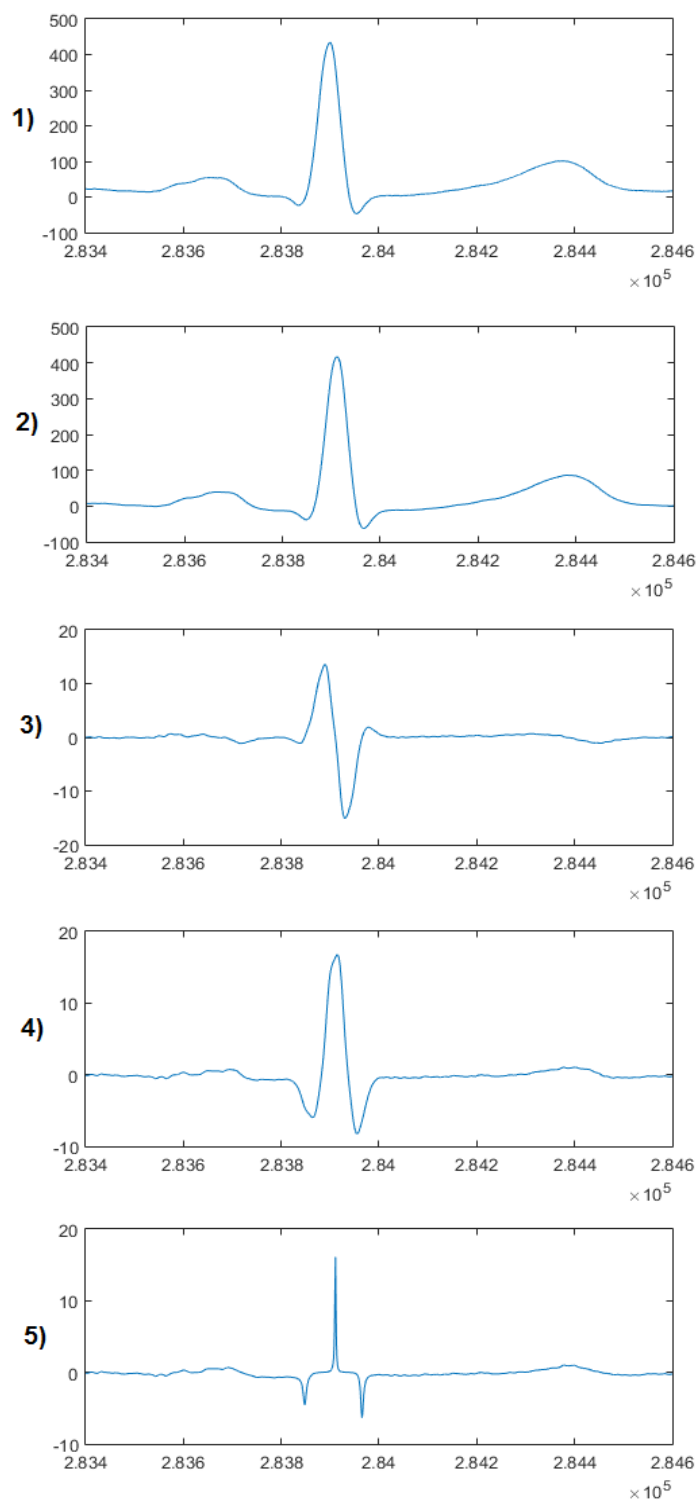


Рис. 6: 1) Исходный сигнал ЭКГ; 2) После применения фильтра; 3) Производная; 4) Преобразование Гильберта; 5) Применение формулы 3

симумы, амплитуда которых больше 50% от максимальной амплитуды среди локальных максимумов.[8]

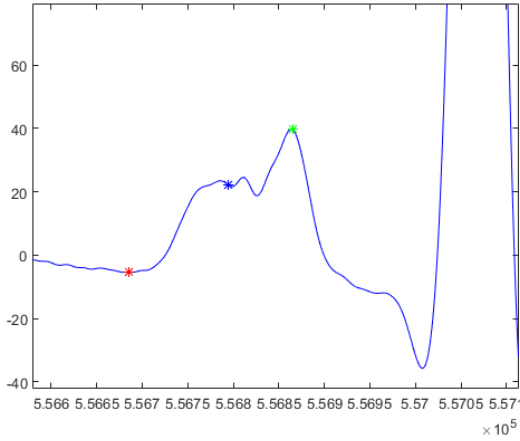
ЧСС Значение ЧСС выводится из расстояния между соседними сердечными циклами. Расстояние между соседними сердечными циклами можно измерить как расстояние между их R пиками. Пусть R-R это массив разностей между координатами соседних R. Так как ЧСС измеряется, как количество ударов в минуту, находим массив ЧСС, разделив поэлементно 120000 на массив R-R. 120000 получилось как 1 минута, деленная на частоту снятия ЭКГ - 0.5 ms.

Q, S, P, T. Для каждого из найденных R пиков, ищется минимум в области (R-50ms:R). Таким образом определяются Q пики. S пики находятся аналогично в области (R:R+50ms). P являются максимумом в области (Q-170ms:Q). T - максимум в области (S:S+260ms). Значения ширины области поиска взяты из [4].

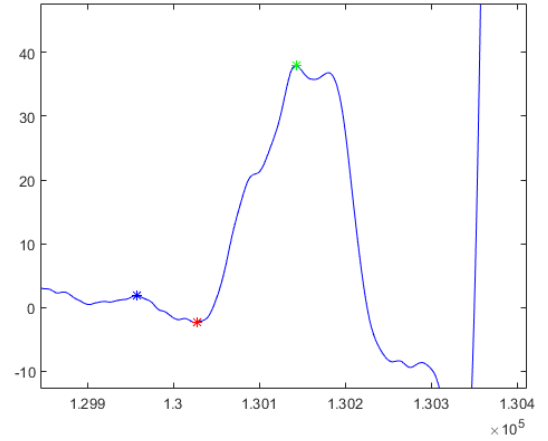
После нахождения всех пиков, уточняется их точное расположение на обработанной ЭКГ, то есть на данных, полученных в разделе "Предварительная подготовка данных" после применения фильтра и избавления от baseline wandering. Поиск точных расположений пиков проводится в области ± 4 деления от расположения найденных. Далее, все поиски будут вестись на этой обработанной ЭКГ.

Края пиков. Используется модифицированный алгоритм из [12]. Приведен пример использования для P, в случае остальных пиков поиск ведется аналогично, но с другими параметрами, которые для Q,S,T были взяты из [12], а для P подобраны опытным путем. Для определения левого края P вычисляется средний уклон на $x \pm 12$ для каждого x, принадлежащего (P-100ms:P-25ms). Следуя указанному в [12] методу, край пика находится в точке, где средний уклон принимает минимальное значение. Но возникает проблема существования точек, где уклон наименьший, но эта точка не является краем 7.

Значит, надо учитывать еще и амплитуду. Поэтому для каждой из точек в области вычисляется модуль разности между значением в ней и значением в вершине пика. Далее, массив разностей сортируется в порядке увеличения среднего уклона, и в нем фиксируется крайняя ле-



(a) Пример 1



(b) Пример 2

Рис. 7: Зеленая точка - вершина пика, синяя - точка с минимальным уклоном, красная - точка левого края.

вая точка максимума. Таким образом, вычисляется точка одновременно и с минимальным уклоном и с максимальной разностью в значениях с вершиной пика. Эта точка и принимается за край пика. Остальные границы находятся аналогично, но используя другие параметры.

Левый край Q находится в области $(Q-30ms:Q-5ms)$, средний уклон вычисляется на $x \pm 10$.

Правый край S находится в области $(S+5ms:S+30ms)$, средний уклон вычисляется на $x \pm 10$.

Правый край P находится в области $(P+15ms:P+50ms)$, средний уклон вычисляется на $x \pm 12$.

Левый край T находится в области $(T_{peak}-150ms:T_{peak}-50ms)$, правый край в области $(T_{peak}+25ms:T_{peak}+100ms)$. В обоих случаях окно для нахождения уклона $x \pm 14$.

Далее, после нахождения этих опорных точек, находятся оставшиеся величины.

Высоты Q, R, S, P, T. Высоты P считаются как разность значений в P и в левом краю P . Высоты Q считаются как разность значений в Q и в левом краю Q . Высоты R считаются как разность значений в R и S . Высоты S равны разности значений в S и правом краю S . Высоты T равны разности значений в T и правом краю T .

PRInterval, PRSegment, QRSComples, QTInterval, STSegment,

ширина T , ширина P . Интервалы и сегменты находятся как разность координат их краев.

5. Результаты эксперимента

Для каждой величины получен массив ее значений для каждого из сердечных циклов на ЭКГ. Длина массива для каждой из величин составляет от 300 до 500 значений, что не позволяет привести эти данные в тексте работы.

6. Анализ полученных данных

Необходимо исследовать полученные данные на предмет зависимости от прослушиваемой музыки. В качестве среднего значения величины берется медиана массива ее значений. Для исследования изменения по мере прослушивания произведения, строится линейная аппроксимация графика значений величины, и в качестве меры изменения берется угол наклона аппроксимирующей прямой.

В разделе "Приложения" в Таблице 3 приведены полученные средние значения величин. Углы наклона изменения этих величин за время снятия ЭКГ приведены в Таблице 4. Также приведены столбчатые диаграммы для средних значений 9 и для угловых изменений 10.

6.1. Анализ средних значений

На основе полученных данных для каждой величины были вычислены разности между средними значениями при прослушивании каждого из музыкальных произведений и при тишине для каждого человека. После, разности были разделены на значения величины в тишине, чтобы получить процентное изменение. Далее рассматривалось математическое ожидание для каждого из изменений. Также для каждой пары музыка-тишина были построены распределения Гаусса. Рис.11 Рис.12 Рис.13

Таблица 1: Процентное изменение среднего значения величины во время прослушивания музыкальных произведений по сравнению со средним значением при измерении в тишине

	ЧСС	Высота P	PR Interval	PR Segment	
Тишина ->Классика	-0.57%	-0.21%	1.02%	-1.75%	
Тишина ->Марш	-0.02%	-0.28%	1.54%	-0.85%	
Тишина ->Металлика	-0.54%	-0.24%	1.32%	-1.51%	
	Ширина P	Высота Q	QRS	QT Interval	
Тишина ->Классика	2.81%	-0.34%	-0.51%	2.90%	
Тишина ->Марш	2.43%	-0.18%	-0.65%	1.28%	
Тишина ->Металлика	2.90%	-0.23%	-0.24%	2.31%	
	Высота R	Высота S	ST Segment	Высота T	Ширина T
Тишина ->Классика	-2.10%	0.46%	0.58%	0.43%	2.85%
Тишина ->Марш	-0.90%	0.53%	-0.39%	-0.11%	2.33%
Тишина ->Металлика	-1.45%	0.64%	0.02%	0.50%	2.56%

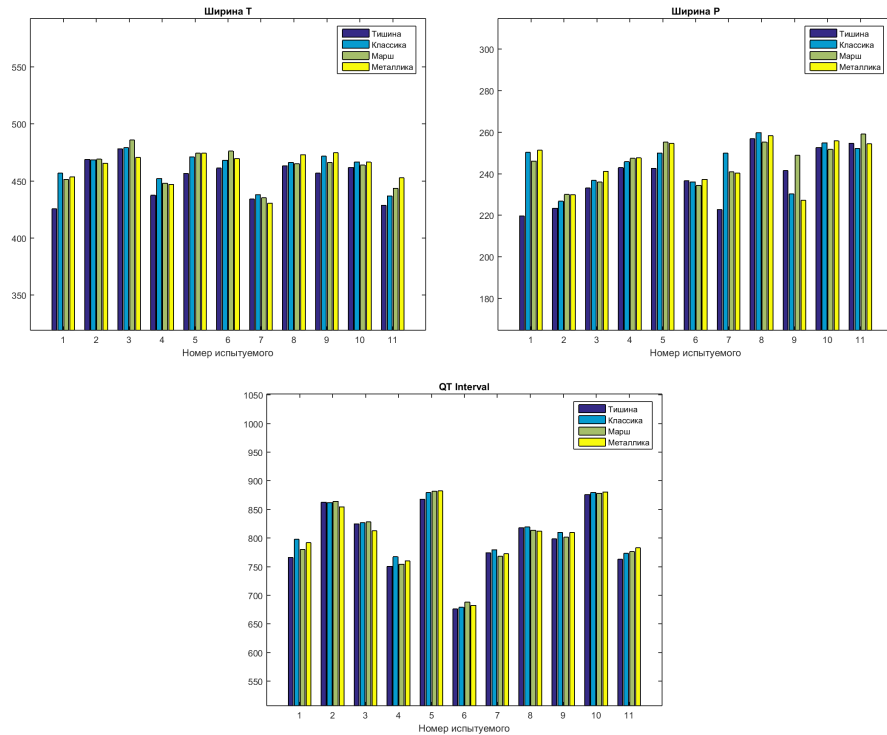


Рис. 8: Средние значения для величин, подвергнувшихся максимальному влиянию

Опираясь на таблицу 1 можно сделать вывод о том, что изменение сердечной деятельности зависит не столько от жанра музыки, как от самого факта прослушивания. Наибольшие изменения произошли с шириной Т (увеличение на 2.6%), с шириной Р (увеличение на 2.5 %) и с QT Interval (увеличение на 2%) (Рис. 8).

Об устойчивости влияния можно судить, анализируя полученные распределения Гаусса. Можно сделать вывод, что классическая музыка устойчивее всего влияет/не влияет на высоту Р ($\sigma^2 = 0.58$), высоту Т ($\sigma^2 = 1.20$) и высоту Q ($\sigma^2 = 1.54$). Марш устойчивее всего влияет/не влияет на ЧСС ($\sigma^2 = 0.069$), на высоту Т ($\sigma^2 = 0.62$) и на высоту Р ($\sigma^2 = 0.84$). Марш устойчивее всего влияет/не влияет на ST Segment ($\sigma^2 = 0.11$), на QRS ($\sigma^2 = 0.75$) и на высоту Р ($\sigma^2 = 0.68$).

6.2. Анализ изменений по мере прослушивания

В таблице 2 приведены значения углов изменения величин по мере снятия ЭКГ. Можно выделить наибольшие изменения в QT Interval (

Таблица 2: Угол изменения величин по мере снятия ЭКГ

	ЧСС	Высота P	PR Interval	PR Segment	
Тишина	-0.0052°	-0.0053°	0.0219°	0.0136°	
Классика	-0.0055°	-0.0019°	0.0026°	0.0124°	
Марш	0.0039°	0.0004°	0.0172°	0.0061°	
Металлика	-0.0011°	-0.0057°	0.0018°	0.0059°	
	Ширина P	Высота Q	QRS	QT Interval	
Тишина	0.0084°	0.0028°	-0.0080°	0.0488°	
Классика	-0.0099°	0.0002°	-0.0005°	0.0006°	
Марш	0.0110°	0.0007°	0.0005°	0.0127°	
Металлика	-0.0038°	-0.0004°	-0.0087°	-0.0009°	
	Высота R	Высота S	ST Segment	Высота T	Ширина T
Тишина	-0.0365°	-0.0003°	0.0138°	0.0331°	0.0362°
Классика	-0.0131°	-0.0007°	-0.0068°	0.0058°	0.0098°
Марш	-0.0064°	0.0007°	0.0009°	0.0070°	0.0130°
Металлика	-0.0131°	0.0001°	0.0124°	0.0032°	-0.0080°

0.0488°), в ширине T (0.0362°) и в высоте T (0.0331°). Все они произошли в замерах во время тишины. Систематической зависимости не видно.

Заключение

Был написан скрипт на Matlab, получающий на вход данные ЭКГ. Используя подход, описанный в разделе 4, скрипт обрабатывает полученные данные, трансформирует их, и находит значения величин, указанных на Рис. 2, среди которых присутствуют величины, поиск которых не производился в предыдущих работах. На выходе, для каждой из величин, скрипт создает текстовый файл с массивом ее значений в каждом из сердечных циклов, обнаруженных в исходных данных. Также предоставляется возможность представить полученные данные в графическом виде. Далее, полученные данные были проанализированы на зависимость от прослушиваемой музыки. Получена зависимость средних значений этих особенностей от самого факта прослушивания. Наибольшие изменения произошли с шириной T, шириной P и с QT Interval. Максимальная устойчивость влияния/не влияния у классики - высота P, у марша - ЧСС, у Металлики - ST Segment.

Список литературы

- [1] Behrad Alireza, Faez Karim. New method for QRS-wave recognition in ECG using MART neural network // Intelligent Information Systems Conference, The Seventh Australian and New Zealand 2001 / IEEE. — 2001. — P. 291–296.
- [2] George H. Zimny Edward W. Weidenfeller. Effects of Music upon GSR and Heart-Rate // The American Journal of Psychology. — 1963. — Vol. 76, no. 2. — P. 311–314. — URL: <http://www.jstor.org/stable/1419170>.
- [3] Gupta Ankit, Bhandari Sulata. ECG Noise Reduction by Different Filters: A Comparative Analysis // IJRCCT. — 2015. — Vol. 4, no. 7. — P. 424–431.
- [4] Islam Md Saiful, Alajlan Naif. Augmented-Hilbert transform for detecting peaks of a Finger-ECG signal // Biomedical Engineering and Sciences (IECBES), 2014 IEEE Conference on / IEEE. — 2014. — P. 864–867.
- [5] Iwanaga Makoto, Moroki Youko. Subjective and physiological responses to music stimuli controlled over activity and preference // Journal of Music Therapy. — 1999. — Vol. 36, no. 1. — P. 26–38.
- [6] Jagtap Sonal K, Uplane MD. The impact of digital filtering to ECG analysis: Butterworth filter application // Communication, Information & Computing Technology (ICCICT), 2012 International Conference on / IEEE. — 2012. — P. 1–6.
- [7] Krumhansl Carol L. An exploratory study of musical emotions and psychophysiology. // Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale. — 1997. — Vol. 51, no. 4. — P. 336.
- [8] Mukhopadhyay SK, Mitra M, Mitra S. Time plane ECG feature extraction using Hilbert transform, variable threshold and slope

- reversal approach // Communication and Industrial Application (ICCIA), 2011 International Conference on / IEEE. — 2011. — P. 1–4.
- [9] Tarmizi Izzah Amani, Hassan Syed Sahal Nazli Alhady Syed, Ibrahim Wan Pauzi Wan. A journal of real peak recognition of electrocardiogram (ECG) signals using neural network // Digital Information and Communication Technology and it's Applications (DICTAP), 2012 Second International Conference on / IEEE. — 2012. — P. 504–509.
- [10] Trahanias Panagiotis, Skordalakis Emmanuel. Syntactic pattern recognition of the ECG // Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on. — 1990. — Vol. 12, no. 7. — P. 648–657.
- [11] An approach to cardiac arrhythmia analysis using hidden Markov models / Douglas A Coast, Richard M Stern, Gerald G Cano, Stanley A Briller // Biomedical Engineering, IEEE Transactions on. — 1990. — Vol. 37, no. 9. — P. 826–836.
- [12] A derivative-based approach for QT-segment feature extraction in digitized ECG record / R Gupta, M Mitra, K Mondal, S Bhowmick // Emerging Applications of Information Technology (EAIT), 2011 Second International Conference on / IEEE. — 2011. — P. 63–66.
- [13] A study on the effects of EEG and ECG signals while listening to Qur'an recitation / Taha Al-Shaikhli, Imad Fakhri, Sabaa Ahmed Yahya et al. // Information and Communication Technology for The Muslim World (ICT4M), 2014 The 5th International Conference on / IEEE. — 2014. — P. 1–6.

Приложения

Таблица 3: Средние значения искомых величин

ЧЭС	Высота Р	PR Interval	PR Segment	Ширина Р	Высота Q	QRS	QT Interval	Высота R	Высота S	ST Segment	Высота T	Ширина T	№ испытываемого	Прослушиваемая музыка
66.983	21.04	372.67	153.25	219.61	10.867	243.36	766.26	261.69	-11.891	97.168	118.68	425.74	1	Титина
60.759	19.097	383.54	133.22	250.32	11.979	237.86	798.12	238.78	-6.3419	103.29	122.73	456.96	1	Классика
66.778	18.224	389.22	143.06	246.16	12.36	236.28	780.27	252.16	-5.5042	92.794	116.71	451.19	1	Марш
60.976	18.791	386.8	135.48	251.32	12.312	240.84	791.65	246.07	-5.4518	97.047	123.41	453.76	1	Металлика
50.167	20.87	427.23	203.81	223.42	-5.2834	189.21	862.88	294.01	-42.482	204.76	77.291	468.9	2	Титина
51.881	21.995	434.08	207.27	226.8	-5.28	188.44	862.13	295.91	-42.331	205.07	75.579	468.63	2	Классика
51.173	21.307	439.43	209.39	230.03	-5.682	188.26	864.24	296.54	-42.725	206.88	75.091	469.1	2	Марш
54.201	22.299	441.28	211.36	229.92	-5.8586	185.22	854.66	308.72	-43.745	203.93	76.565	465.51	2	Металлика
58.594	35.333	383.52	150.32	233.2	-7.802	195.25	824.89	410.12	-24.045	151.59	125.54	478.05	3	Титина
56.114	34.522	396.16	159.27	236.88	-7.3089	192.42	826.79	401.64	-24.129	155.19	126.56	479.18	3	Классика
55.504	33.108	390.06	153.98	236.08	-6.9532	189.86	828.13	392.41	-24.626	152.34	125.05	485.94	3	Марш
60.729	35.324	391.4	150.2	241.21	-7.8987	193.05	812.8	401.94	-25.66	149.19	117.37	470.55	3	Металлика
89.787	39.573	274.96	32.244	242.91	-26.242	223.94	750.75	470	-54.258	90.384	69.791	437.44	4	Титина
86.207	37.453	275.65	30.268	245.78	-25.477	223.19	767.19	463.41	-51.308	91.789	83.162	452.21	4	Классика
86.518	38.198	281.19	33.889	247.43	-26.219	218.69	754.52	469.81	-51.169	87.739	90.811	448.08	4	Марш
87.336	38.766	280.81	33.306	247.63	-25.911	217.7	760.1	467.96	-50.223	95.313	97.899	447.09	4	Металлика
56.325	42.922	285.38	42.898	242.48	-27.692	187.7	868	253.72	-15.15	223.64	72.887	456.67	5	Титина
55.594	43.563	294.92	45.068	249.86	-27.319	186.77	879.58	234.52	-14.932	221.86	88.054	470.96	5	Классика
55.723	47.663	302.13	46.928	255.2	-26.219	186.76	881.9	232.21	-15.176	220.62	85.703	474.52	5	Марш
55.607	47.444	303.32	48.67	254.65	-26.208	186.77	882.72	219.69	-14.771	221.57	84.577	474.37	5	Металлика
91.533	61.419	312.14	75.439	236.7	-3.5718	229.43	676.09	373.88	-5.4348	25.347	124.97	461.27	6	Титина
91.603	56.699	317.8	81.728	236.08	-3.2735	232.26	678.92	374.62	-5.7399	27.647	131.59	468.23	6	Классика
89.219	55.841	315.75	81.365	234.39	-4.1996	237.74	688.08	381.04	-6.3789	29.455	136.1	476.23	6	Марш
92.025	54.915	315.94	78.583	237.36	-4.918	236.01	682.48	375.73	-7.7423	29.005	132.65	469.64	6	Металлика
73.126	40.697	296.47	73.636	222.83	-2.8056	226.94	773.98	288.03	-21.497	113.1	136.05	434.21	7	Титина
73.801	47.155	328.85	78.857	249.99	-3.6029	228.33	779.72	270.33	-10.366	113.23	135.25	438.16	7	Классика
76.531	46.478	322.66	81.682	240.98	-4.1946	229.23	768.5	272.11	-9.439	104.02	132.11	435.26	7	Марш
75.472	50.112	326.66	86.493	240.31	-5.0396	228.4	772.75	269.76	-9.268	113.64	133.6	430.71	7	Металлика
59.318	51.396	345.84	88.972	256.87	-24.333	203.94	818.15	444.4	-55.881	150.89	122.65	463.32	8	Титина
58.795	48.394	352.67	92.842	259.83	-23.712	201.61	819.51	438.76	-53.065	151.66	119.26	466.23	8	Классика
60.12	45.69	347.53	92.349	255.18	-23.013	202.29	813.5	424.32	-51.173	146.09	116.69	465.12	8	Марш
61.038	48.291	348.96	90.626	258.34	-23.424	201.32	812.11	427.2	-53.238	137.73	116.89	473.06	8	Металлика
70.922	38.015	348.92	107.32	241.6	-0.31803	284.23	798.61	229.33	-12.014	57.354	103.09	457.03	9	Титина
69.808	25.404	364.86	134.47	230.38	1.2318	275.65	810.08	232.22	-14.355	62.643	109.4	471.79	9	Классика
71.727	33.636	366.76	117.89	248.88	0.89529	276.89	801.6	226.57	-13.615	58.479	107.4	466.23	9	Марш
66.28	22.344	373.87	146.6	227.27	1.29	261.33	809.79	233	-24.181	73.822	107.57	474.63	9	Металлика
58.824	55.616	331.62	79.017	252.6	-26.973	212.63	875.99	245.4	-25.503	70.21	86.565	461.91	10	Титина
61.038	55.062	343.88	88.966	254.92	-25.711	208.9	879.84	237.93	-24.34	204.28	96.195	466.67	10	Классика
61.209	54.567	345.52	93.835	251.69	-26.484	207.14	878.35	229.81	-24.326	207.34	99.424	463.87	10	Марш
61.224	53.557	350.06	94.264	255.8	-27.391	207.81	880.69	228.06	-23.913	206.43	97.856	466.45	10	Металлика
74.166	38.728	377.2	122.63	254.56	-5.1178	257.07	763.19	271.7	-9.9799	77.254	81.679	428.86	11	Титина
72.508	36.314	386.88	134.7	252.18	-4.855	256.32	773.47	270.62	-9.4426	80.482	90.991	436.69	11	Классика
71.856	34.009	396.22	137.03	259.19	-4.5237	257.67	776.6	266.47	-9.0435	75.535	90.967	443.39	11	Марш
71.217	33.606	391.76	137.32	254.44	-4.4845	258.3	782.96	264.7	-8.8085	71.938	93.428	452.73	11	Металлика

Таблица 4: Угловые изменения величин за время снятия ЭКГ(в градусах)

ЧСС	P_val	PR Interval	PR Segment	Ширина P	Высота P	Высота Q	QRS	QT Interval	Высота R	Высота S	ST Segment	Высота T	Ширина T	№ испытываемого	Прослушиваемая музыка
-0.001515	0.004353	-0.010442	-0.018416	0.009698	-0.001214	0.001825	-0.024009	0.004952	0.001395	-0.041483	0.000851	0.005668	1	Типина	
0.001632	-0.001211	-0.032973	-0.003327	-0.029649	0.00215	0.031375	-0.006353	0.007556	0.001747	-0.0081	-0.011962	-0.011428	1	Классика	
0.011925	0.00127	0.002917	0.039121	-0.036208	0.001318	0.031647	0.049515	0.021944	-0.001939	-0.087188	-0.003843	0.006197	1	Марш	
-0.041707	-0.005473	-0.004602	-0.028565	0.023966	-0.002746	-0.046146	0.079146	-0.034343	0.004766	0.097586	0.000785	0.027587	1	Металлика	
0.017701	0.000484	0.025556	0.013342	0.012218	-0.00097	0.001875	-0.002628	-0.018897	-0.004307	0.013864	0.004721	-0.018366	2	Типина	
-0.005935	0.002062	0.021233	-0.011664	0.032888	-0.000279	-0.004997	0.01543	-0.011452	-0.002883	-0.028294	0.013673	0.048691	2	Классика	
0.024567	0.007999	0.050086	-0.016225	0.066257	-0.001636	-0.016253	0.001745	0.019717	0.004114	0.012451	-0.009444	0.005548	2	Марш	
-0.012649	-0.000577	-0.053433	-0.029932	-0.023538	0.000937	0.004774	-0.011103	-0.012004	7.9e-05	0.023115	0.006229	-0.038904	2	Металлика	
-0.008405	-0.002618	0.027473	0.012946	0.014532	0.004416	-0.015345	0.10209	-0.075501	0.004843	0.072402	0.044251	0.045233	3	Типина	
-0.064671	-0.008752	0.054497	0.066029	-0.011574	0.00191	-0.009713	0.011442	-0.027547	0.000802	0.019657	0.019263	0.001497	3	Классика	
-0.006289	-0.027081	0.045504	0.069189	-0.023759	0.003599	-0.010061	0.058838	-0.047868	0.006257	0.060213	0.045111	0.008681	3	Марш	
-0.008692	-0.003641	0.022494	0.002824	0.019671	0.003206	-0.004916	-0.031038	-0.001554	-0.00638	-0.024808	-0.012763	-0.001318	3	Металлика	
-0.01445	-0.001309	-0.007057	-0.023363	0.015907	0.001147	-0.002703	0.026224	-0.02338	0.00243	0.011134	0.042535	0.007749	4	Типина	
-0.005861	-0.00208	0.000211	0.003321	-0.003615	0.000193	0.000666	0.028361	-7.5e-05	0.001683	0.00959	0.012642	0.018111	4	Классика	
-0.014198	0.004308	0.007111	-0.000155	0.006991	0.000136	-0.003162	0.058	0.017432	0.00331	0.040904	0.023642	0.020297	4	Марш	
0.009813	0.002626	0.001071	-0.004569	0.006589	-0.000401	-0.005771	-0.031785	0.004543	-1e-05	-0.003869	0.00084	-0.022153	4	Металлика	
-0.002213	-0.010906	0.026897	-0.001533	0.028428	0.005477	-0.004943	0.18927	-0.27077	0.008121	0.029335	0.073892	0.16563	5	Типина	
-0.019468	0.000295	0.002984	-0.005952	0.008936	0.004329	0.000769	0.031853	-0.03282	-0.004972	-0.032843	0.003262	0.063863	5	Классика	
0.000188	-0.007597	0.004748	-0.002343	0.007091	0.001626	-0.002177	0.006142	-0.044086	0.006271	-0.007474	-0.003673	0.015792	5	Марш	
0.004205	-0.020128	0.009749	0.004748	0.005001	0.004239	0.004168	-0.010583	-0.012002	-0.002513	0.009916	0.003572	-0.024663	5	Металлика	
-0.016352	-0.006074	0.021774	0.002322	-0.001482	0.007267	-0.034344	0.030166	0.018404	0.007029	-0.018144	0.041946	0.019392	6	Типина	
-0.010755	-0.0601	-0.017652	0.007104	-0.024753	0.001186	0.034343	0.009974	-0.014803	0.000609	0.004328	0.03678	0.0237	6	Классика	
-0.00356	-0.001033	0.016691	0.002772	0.01392	0.000938	0.007768	0.002306	-0.035203	-0.000991	0.009915	-0.003657	0.004447	6	Марш	
0.008713	-0.006054	-0.012231	0.007203	-0.019432	0.00045	-0.021945	0.009621	-0.020033	-0.004116	-0.012443	0.011356	0.008146	6	Металлика	
-0.003793	-0.017549	-0.051776	0.011942	-0.063679	-0.00381	-0.02183	-0.031003	0.061176	-0.042032	0.034787	-0.000347	-0.047828	7	Типина	
-0.000671	0.010933	-0.016378	0.022217	-0.038581	-0.008907	0.014159	-0.037103	0.014352	-0.01309	0.023713	-0.011639	-0.074858	7	Классика	
0.011904	0.006148	0.040207	-0.018393	0.058557	0.005756	0.002464	0.032137	0.000409	-0.004767	-0.032211	0.00836	0.061827	7	Марш	
0.004485	0.004626	-0.001971	0.040197	-0.039842	-0.006923	-0.012324	-0.053324	0.014514	-0.003619	0.010959	0.017938	-0.051962	7	Металлика	
-0.002438	-0.007102	0.017579	0.024228	-0.006652	0.004169	-0.020036	0.024021	-0.019966	0.007901	-0.004626	0.001185	0.048652	8	Типина	
0.004896	-0.010515	-0.014241	0.003909	-0.018149	0.001151	-0.005634	-0.003341	-0.04039	0.007258	-0.043308	-0.004312	0.045597	8	Классика	
-0.010684	0.012392	-0.007865	-0.009693	0.001828	0.001651	-0.017118	0.014474	0.015255	-0.006689	0.03627	0.008	-0.004691	8	Марш	
0.04117	-0.001828	0.021735	0.002098	0.019638	0.000782	-0.008846	-0.004541	-0.042813	0.010087	-0.016302	-0.00053	0.020605	8	Металлика	
-0.002408	-0.025116	0.073449	0.028077	0.045466	0.002414	0.018647	0.13496	-0.01453	0.00859	-0.021785	0.057278	0.13804	9	Типина	
0.007989	-0.001817	0.009594	0.019069	-0.009477	0.000685	-0.002255	-0.021248	-0.004737	-0.004345	0.006693	-0.008311	-0.025683	9	Классика	
0.005482	0.011775	-0.020818	-0.020859	4.1e-05	-0.002851	0.003839	-0.021847	0.004876	-0.001559	-0.023425	0.005478	-0.00681	9	Марш	
0.003207	-0.02821	0.03821	0.06716	-0.029024	-9.1e-05	-0.013065	0.058405	-0.026929	0.003905	0.04189	0.001954	0.029614	9	Металлика	
0.002803	0.004908	0.071778	0.044659	0.027208	0.008982	-0.016029	0.070221	-0.055438	0.007905	0.042124	0.059571	0.04419	10	Типина	
0.013793	-0.001387	0.025156	0.025781	-0.000625	-0.000521	-0.01208	-0.01343	-0.014083	0.002321	-0.00045	0.011823	-0.000901	10	Классика	
0.007659	-0.000478	0.019089	0.004132	0.014958	-0.002776	0.006549	-0.004723	-0.012582	0.002278	-0.002278	-0.008646	-0.015092	10	Марш	
-0.016746	-0.003522	0.020603	0.012368	0.008237	-0.003893	-0.003815	-0.017594	-0.007921	0.001693	0.018153	-0.002073	-0.031925	10	Металлика	
-0.031387	0.002509	0.045896	0.034847	0.011067	0.002497	-0.005284	0.01783	-0.007873	-0.005187	0.033694	0.03842	-0.010591	11	Типина	
0.018313	-0.002422	-0.004291	0.009611	-0.013902	-0.000226	-0.002761	-0.009257	-0.004709	0.003698	-0.026019	0.003492	0.019734	11	Классика	
0.015504	-0.003352	0.031486	0.020077	0.011416	-7.5e-05	-0.002097	0.042061	-0.010264	0.001511	-0.002827	0.015722	0.046975	11	Марш	
-0.003912	-0.000197	-0.02145	-0.008919	-0.012533	-0.000294	0.012523	0.002674	-0.005261	-0.000345	-0.00727	0.002283	-0.002579	11	Металлика	



Рис. 9: Средние значения величин

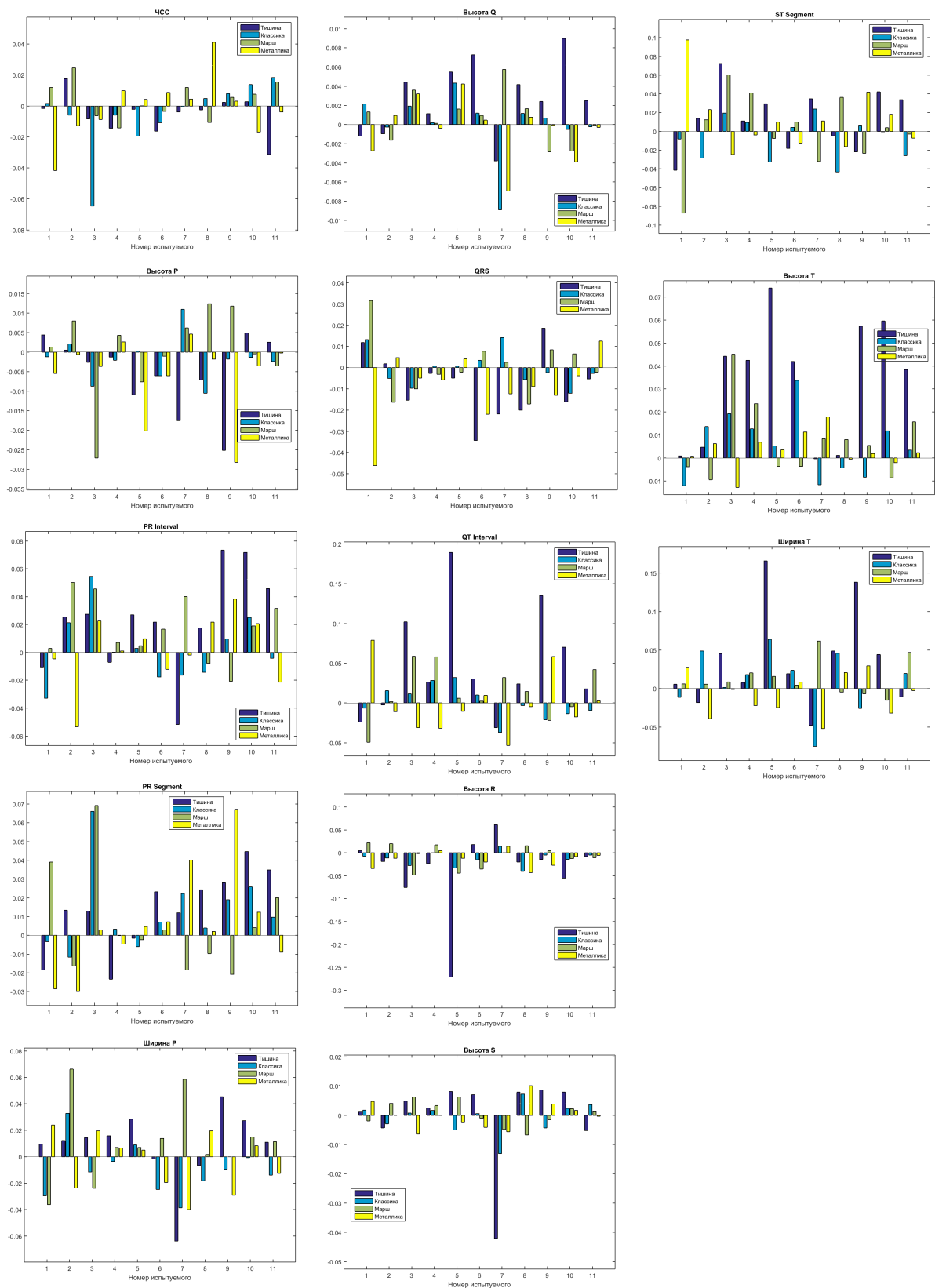


Рис. 10: Угловые изменения величин

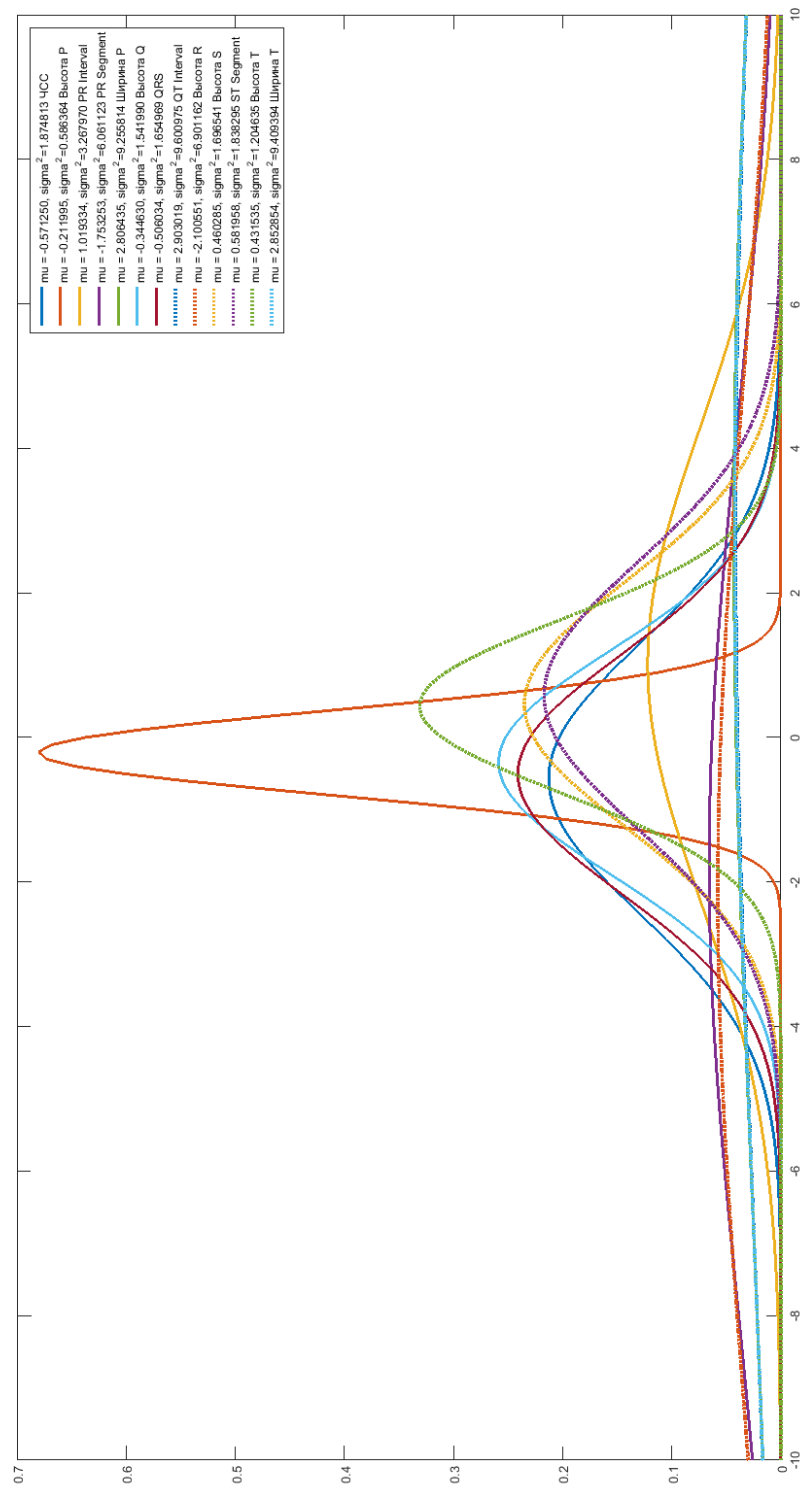


Рис. 11: Распределение Гаусса для изменение среднего значения величины во время прослушивания классической музыки по сравнению со средним значением при измерении в тишине

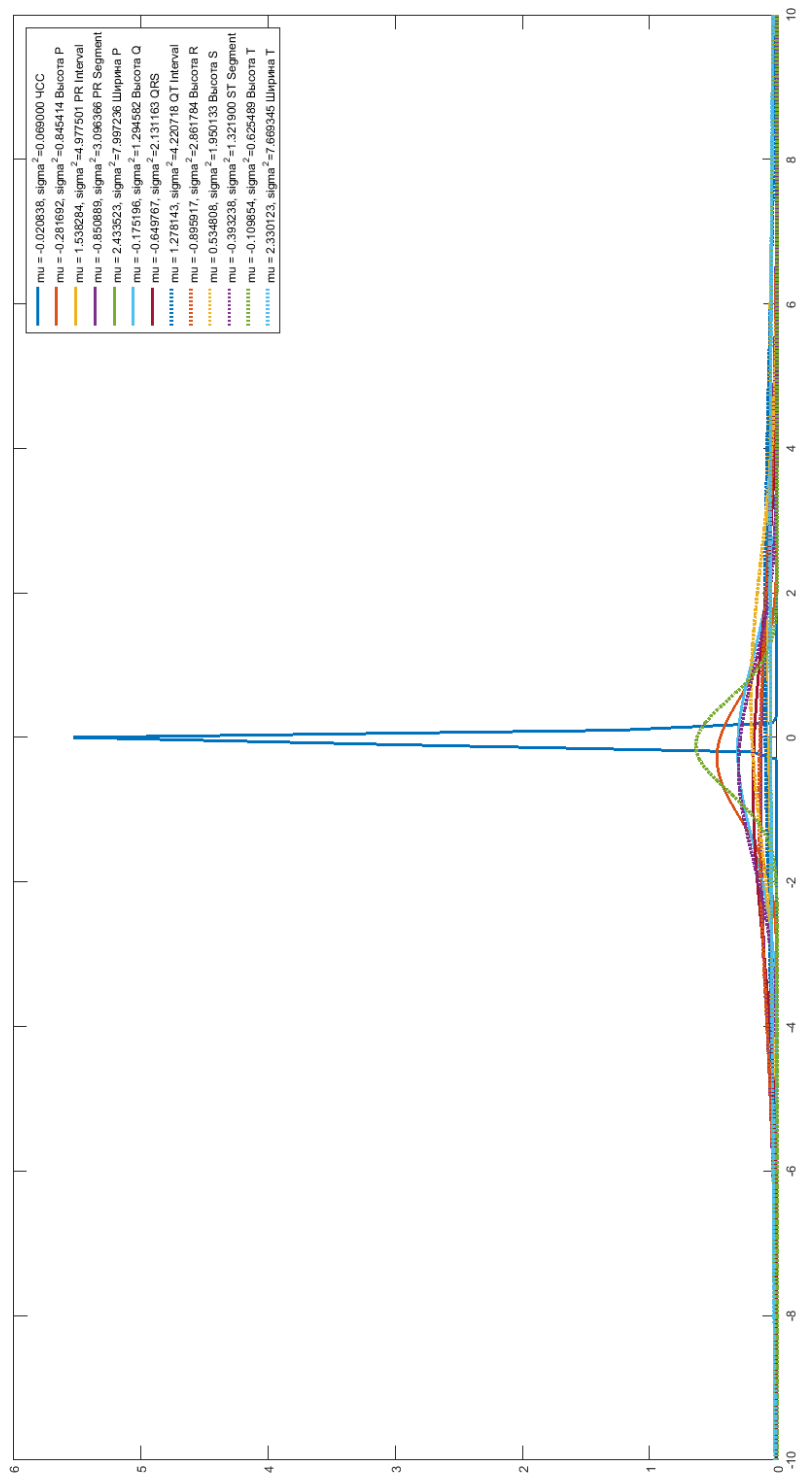


Рис. 12: Распределение Гаусса для изменение среднего значения величины во время прослушивания марша по сравнению со средним значением при измерении в тишине

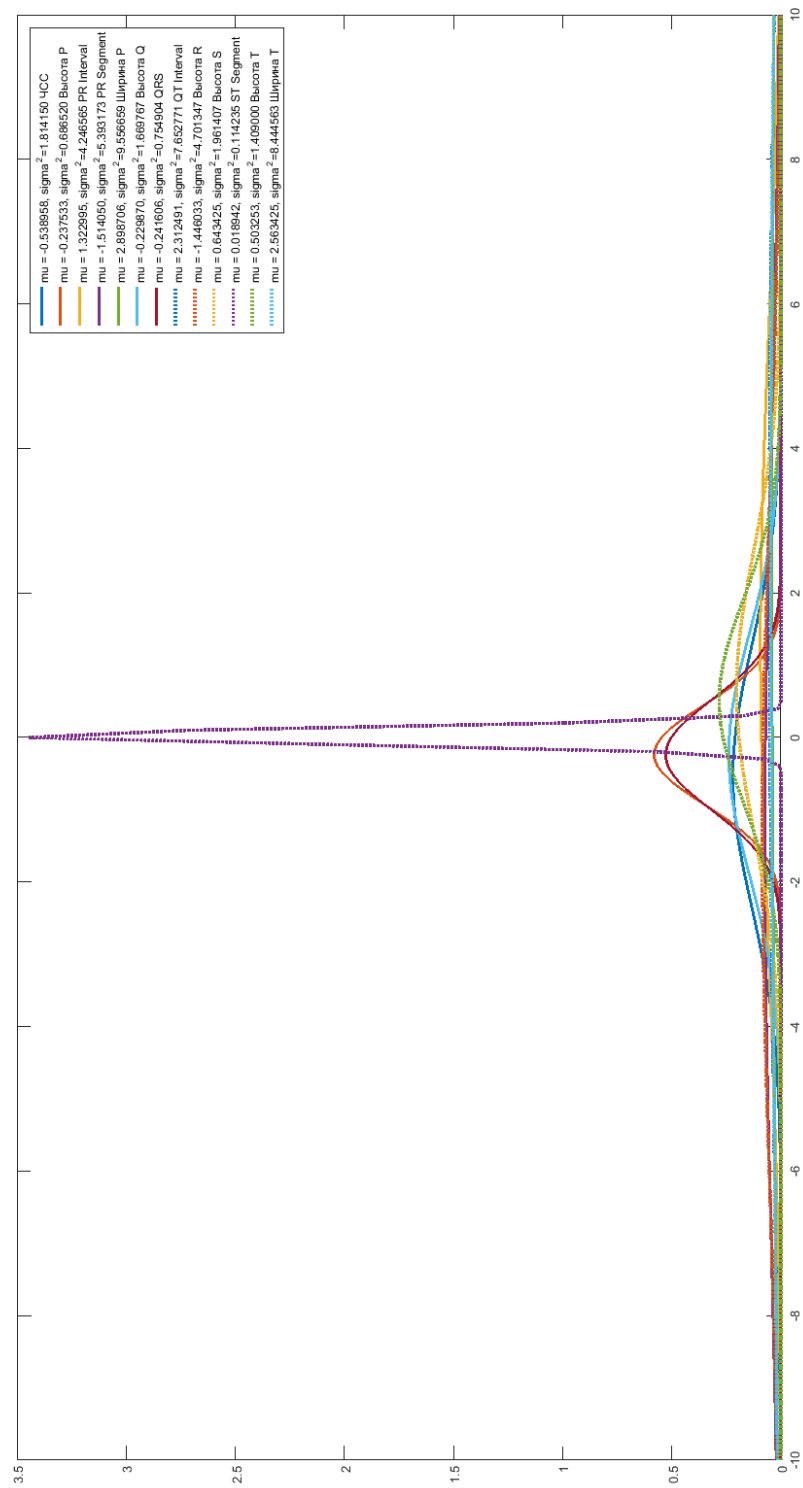


Рис. 13: Распределение Гаусса для изменение среднего значения величины во время прослушивания Металлики по сравнению со средним значением при измерении в тишине